

Результаты расчета токов электродинамической стойкости для провода АС-500/27 в пролетах различной длины представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты расчетов

Время КЗ, с	Длина пролета, м	$U_{ном} / a_{мин}$ , кВ / м	1-ая траектория		2-ая траектория	
			$I_{кз}^{(2)}$ , кА	$a_{откл}$ , м	$I_{кз}^{(2)}$ , кА	$a_{откл}$ , м
0,1	30	110 / 0,45	–	–	33,52	0,45
	40	220 / 0,95	30,6	0,95	–	–
	50	330 / 1,4	54,7	1,4	–	–
0,2	30	110 / 0,45	–	–	27,87	0,45
	40	220 / 0,95	24,97	0,95	–	–
	50	330 / 1,4	44,19	1,4	–	–
0,3	30	110 / 0,45	–	–	25,65	0,45
	40	220 / 0,95	22,1	0,95	–	–
	50	330 / 1,4	39,95	1,4	–	–
0,4	30	110 / 0,45	–	–	24,42	0,45
	40	220 / 0,95	20,0	0,95	–	–
	50	330 / 1,4	36,5	1,4	–	–

Аналогичные таблицы были получены для проводов небольшого и большого сечения: АС-185/29 и АС-800/105. Для пролетов небольшой длины (20 и 25 м), где междупазное расстояние более чем в два раза превышает стрелу провеса провода, опасное сближение фаз не наступает. Поэтому в этом случае ток электродинамической стойкости будет однозначно определяться из рассмотрения максимально допустимого тяжения провода при КЗ.

УДК 621.311

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ КОСМОСА

*Лось Ю.Н., Дерюгина Е.А.*

Научный руководитель – КЛИМКОВИЧ П.И.

Основоположник теоретической космонавтики К.Э. Циолковский первым обратил внимание на общеизвестный факт – безвозвратную потерю для человечества почти всей лучистой энергии Солнца – и стал искать способы овладения этой энергией [1, 2]. После запуска первых искусственных спутников Земли популяризатор авиационной и космической техники Н.А. Варваров выдвинул идею снабжения Земли электроэнергией в неограниченном количестве с помощью специализированных космических аппаратов – космических солнечных электростанций. Он пропагандировал эту концепцию, отмечая потенциальные возможности и значение энергосистем нового типа. Беспроводная линия передачи энергии в СВЧ-диапазоне волн с Земли на борт летательного аппарата разрабатывалась с конца 40-х годов профессором Г.И. Бабатом [1].

А. Кларк подробно рассмотрел перспективы утилизации лучистой энергии Солнца в космосе. Учитывая малую плотность потока энергии у Земли, он отметил целесообразность размещения «ловушек» солнечных лучей в непосредственной близости от Солнца с последующей передачей энергии по направленному лучу на Землю. Плотность потока лучистой энергии при приближении к Солнцу возрастает с  $1,4 \text{ кВт/м}^2$  до  $65 \text{ тыс. кВт/м}^2$ .

П.Э. Глазера конкретизировал проектный облик солнечной электростанции и описал на основе реально существующих прототипов два основных элемента электростанции: солнечную энергоустановку, предназначенную для улавливания лучистой энергии Солнца и преобразования ее в электрическую, и систему направленной передачи (приема) энергии из космоса на Землю в СВЧ-диапазоне волн.

Интерес к идее энергоснабжения Земли из космоса значительно возрос в США в начале 70-х годов вследствие охватившего страну энергетического кризиса. Министерство энергетики США и Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства (НАСА) развернули в эти годы широкую программу научно-исследовательских и проектно-поисковых работ, привлекая к разработкам ведущие ракетно-космические фирмы.

В результате выполненных в СССР и за рубежом научно-исследовательских, проектно-поисковых и экспериментальных работ был получен материал, позволяющий оценить технические и технико-экономические характеристики энергосистемы нового типа, выявить проблемы, стоящие на пути создания солнечных электростанций и сопутствующих комплексов, оценить способы и средства выведения, развертывания и обслуживания системы.

Большое внимание, уделяемое проблемам энергоснабжения наземных потребителей из космоса со стороны научных кругов промышленно развитых стран мира, явилось результатом объективных причин. Сбор лучистой энергии, преобразование ее в электрическую и передача на Землю имеют по сравнению с наземным способом утилизации солнечной энергии преимущества. Среди них повышенный уровень потока солнечной радиации (на единицу площади в космосе поступает в среднем в десять раз больше солнечной энергии, чем на такую же площадь на поверхности Земли), непрерывность процесса производства энергии, возможность развертывания сооружений грандиозных размеров, малые возмущающие нагрузки, минимальное влияние на окружающую среду в процессе эксплуатации системы. Поэтому потоки солнечных лучей гораздо выгоднее «перехватывать» в космосе, чем «собирать» на Земле.

Чтобы воспользоваться этими преимуществами, необходимо решить сложные задачи, в их числе главная – выведение в космос элементов электростанции, сборка этих элементов на орбите и обслуживание электростанции в процессе эксплуатации.

Конструктивный облик типовой крупномасштабной космической солнечной электростанции в основном определен. При полезной мощности энергосистемы 5 млн. кВт электростанция будет представлять собой грандиозное сооружение массой 20–50 тыс. т. Площадь солнечного коллектора, основанного на малоэффективном, но простом и надежном фотоэлектрическом способе преобразования энергии, составит около  $50 \text{ км}^2$ . Другой, более эффективный термодинамический способ преобразования отличается наличием сложных систем, включая узлы вращения, большой материалоемкостью конструкции, но габариты коллектора-концентратора солнечного излучения у него будут существенно меньшими.

Электростанция, выведенная на геостационарную орбиту (высота 36 тыс. км), «повиснет» над одной точкой земной поверхности и станет, круглосуточно освещаемая Солнцем, практически непрерывно вырабатывать электроэнергию и передавать ее на Землю. Принципиально новой является система направленной передачи энергии по ка-

налу «космос–Земля». Передача энергии на Землю из космоса возможна с помощью сверхвысокочастотного или лазерного излучений. Первый способ предпочтительнее по ряду причин: СВЧ-излучение беспрепятственно проникает сквозь толщу атмосферы, не боится туманов и грозových туч. У него сравнительно низкие потери при прямом и обратном преобразовании энергии. Диаметр передающей антенны принимается равным 1 км. Излучаемый такой антенной пучок попадает на приемную антенну, диаметр которой составляет не менее 10 км. Здесь его энергия преобразовывается в электрический ток промышленной частоты, который направляется в энергосистему страны.

Преимущество лазерного метода заключается в формировании узкого луча, в малых размерах передающего и приемного устройств. Однако эффективность прямого и обратного преобразования энергии является невысокой, велики также потери лазерного излучения в атмосфере.

Суммарная эффективность процесса производства, передачи и приема энергии для всей энергосистемы, включая космическую и наземную части, оценивается в 5–20 %, в том числе производство электроэнергии – 10–30 %, передача-прием энергии – в 50–70 %. Создание энергосистемы нового типа потребует больших расходов.

По результатам выполненных научно-исследовательских и проектно-поисковых работ [1] исследователями сделаны основные выводы.

– Создание системы космических солнечных электростанций, предназначенных для энергоснабжения наземных потребителей из космоса, представляет собой реальную, технически выполнимую задачу. Однако проблемы, которые предстоит при этом разрешить, серьезны и многочисленны.

– К середине XXI века с помощью космических солнечных электростанций могут быть обеспечены 10–20 % потребностей в электроэнергии для промышленно развитых стран мира, а космическая энергосистема сможет стать одним из основных источников электроэнергии для человечества. Развертывание в космосе системы солнечных электростанций позволит создать базу для индустриализации космоса и разработки внеземных ресурсов.

– Для реализации рассмотренных проектов крупномасштабных космических солнечных электростанций потребуются грандиозные капиталовложения, возмещение которых начнется только через 20–30 лет после начала работ. Это вызовет беспрецедентное напряжение экономики страны – разработчика системы.

– Существующие неопределенности в прогностической оценке проектных характеристик космической энергосистемы и сопутствующих комплексов не позволяют с достаточной достоверностью определить технико-экономические показатели и эффективность систем. Задаваясь оптимистическими значениями удельных параметров космической электростанции, наземной приемной станции и сопутствующих комплексов, можно получить нижнюю оценку стоимости вырабатываемой электроэнергии порядка 10 цент/кВт·ч, что не позволяет обеспечить конкуренцию с традиционными энергосистемами.

– Недопустимо мало известно об экологических аспектах программы и возможных последствиях воздействия СВЧ-излучения и пусков многочисленных ракет-носителей на здоровье людей, животный и растительный мир Земли, климат.

– Придание программе создания космических солнечных электростанций международного характера позволит построить более эффективную систему за счет реализации оптимальных технических решений, распределить риск, улучшить перспективы сбыта, устранить возможность экономического господства страны-разработчика.

– Предложенные в 70–80-х годах варианты экспериментальных, демонстрационных и маломасштабных космических солнечных электростанций основываются на традиционных проектно-конструктивных принципах и отличаются низкой эффективностью.

стью и существенной неэкономичностью. Маломасштабные образцы космических солнечных электростанций не позволяют обеспечить финансирование последующих этапов работ.

– Выделение сколько-нибудь значительных финансовых ресурсов на программу космических солнечных электростанций, даже если это будет происходить в рамках международной программы, представляется в ближайшей перспективе маловероятным.

Известны две альтернативные точки зрения на ход дальнейших работ по космическим солнечным электростанциям. В соответствии с первой предлагается полностью прекратить разработки по космической энергетике для наземных нужд. Согласно второй – широко развернуть научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы с целью создания полноразмерных эксплуатационных образцов электростанций.

В основу подхода положен принцип поэтапного наращивания мощностей космических солнечных электростанций с одновременным обеспечением рентабельности системы. Стоит задача разработки мало-, средне- и крупномасштабных образцов космической солнечной электростанции с уровнем вырабатываемой мощности 100 кВт, 1 МВт, 10 МВт, 100 МВт и 1000 МВт. Только после освоения малого уровня полезной мощности, получения необходимого опыта и возмещения произведенных затрат можно будет переходить к последующему этапу.

#### Литература

1. Нариманов, Е.А. Космические солнечные электростанции. – М.: Знание, 1991. – 64 с.
2. Гэтланд, К. Космическая техника. Иллюстрированная Энциклопедия Космической Технологии. – М.: Мир, 1986. – 292 с.

УДК 621.316.925

## СПОСОБЫ ОТСТРОЙКИ ЦИФРОВЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ЗАЩИТ ТРАНСФОРМАТОРА ОТ БРОСКОВ ТОКА НАМАГНИЧИВАНИЯ И РЕЖИМОВ ПЕРЕВОЗБУЖДЕНИЯ

*Булойчик Е.В.*

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент **ТИШЕЧКИН А.А.**

Релейная защита от внутренних коротких замыканий (КЗ) силовых трансформаторов должна правильно функционировать и надежно распознавать внутренние КЗ и аномальные режимы. К аномальным режимам относятся броски намагничивающего тока, перевозбуждения, перегрузки.

В данной работе рассматриваются способы отстройки цифровых дифференциальных защит трансформатора от бросков намагничивающего тока (БНТ) и режимов перевозбуждения (ПВ).

Одним из основных требований к дифференциальной защите силового трансформатора является правильное и быстрое распознавание БНТ. Сложность этой задачи обусловлена многообразием возможных значений и форм тока с учетом разновременности включения фаз и насыщения трансформаторов тока. Выбранный способ распознавания БНТ в значительной мере определяет сложность защиты в целом, ток и время срабатывания защиты при внутренних КЗ.

БНТ представляет собой переходной процесс, проявляющийся в резком увеличении намагничивающего тока силового трансформатора, вызванный включением под напряжение или восстановлением напряжения после отключения внешнего КЗ. Он обу-